

**Ю.Н. СПИЧАК<sup>1</sup>, И.Ю. КОСТИВ<sup>2</sup>, Ю.В. САДОВЫЙ<sup>2</sup>, В.Ф. ГОЛОВЧАК<sup>3</sup>,  
Р.В. КРАВЕЦ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ООО «НПП «Антрацит-Плюс Лтд.», г. Антрацит

<sup>2</sup> Государственный научно-исследовательский институт галургии, г. Калуш

<sup>3</sup>ГП «НВП «Екозахист та енергозбереження», г. Моршин

## **ТЕХНОЛОГИЯ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ОТ ВЛИЯНИЯ ГОРНО-ДОБЫЧНЫХ РАБОТ**

*Для предупреждения развития и активизации опасных геологических процессов авторы разработали технологию охраны окружающей природной среды от влияния горно-добычных работ. Приведены общие положения этой технологии, примеры её практического применения в Украине, за рубежом, и предложения по ее использованию в Предкарпатье и в Карпатах.*

### **Введение**

Анализ сегодняшнего состояния окружающей природной среды в Прикарпатье и Карпатах позволяет сделать вывод о развитии и активизации опасных геологических процессов в районах отработки месторождений калийных солей (г. Калуш, г. Стебник), серы (г. Яворив), каменной соли (г. Солотвино). Нарушение гидрогеологического равновесия при производстве горно-добычных работ на этих месторождениях и в прилегающих населенных пунктах способствует активизации процессов карстообразования, проседанию земной поверхности в границах обрабатываемых рудников, шахт и появлению глубоких провальных воронок [1].

Кроме механических нарушений геологической среды, в результате неконтролируемого растворения солей происходит загрязнение гидросферы, изменение гидрогеодинамических и геохимических условий на участках вышеуказанных месторождений [2].

С целью предотвращения развития опасных геологических процессов авторами разработана технология охраны окружающей среды от влияния горно-добычных работ. Ниже приведены основные положения этой технологии, примеры ее практического применения в Украине, за границей, и рекомендации по ее использованию в Прикарпатье и Карпатах.

**Природоохранная технология.** Технология охраны окружающей природной среды направлена на предотвращение развития, активизации опасных геологических процессов, и ликвидацию их последствий, включая следующие виды:

Защита литосферы:

□ от карстообразования за счет ведения подготовительных и очистных работ с предварительной изоляцией источников водопритоков в рудники, шахты и карьеры;

□ от проседания земной поверхности в шахтерских городах и поселках над действующими и закрытыми рудниками и шахтами путем гарантированного заполнения подземных пустот и отработанных выработок безуглекислыми твердеющими растворами на основе отходов обогащения;

□ от образовавшихся провальных воронок над калийными рудниками за счет укрепления и водоизоляции обрушенных пород под дном каждой провальной воронки, ее заполнения до дневной поверхности отходами обогатительного производства и их последующим тампонажем;

□ от загрязнения промышленными, бытовыми, военными отходами путем герметизации основания полигонов подстилающими противofильтрационными слоями;

□ от подтопления территорий в зонах закрытия шахт и рудников за счет водоизоляции отработанных наклонных выработок, имеющих выход на дневную поверхность, и вмещающих их проницаемых пород противofильтрационными перегородками;

□ от оползней грунтов на карьерных, породных и горных склонах путем их укрепления через пробуренные наклонные скважины;

Защита гидросферы:

□ от истощения подземных и грунтовых вод за счет строительства и эксплуатации рудников, шахт, карьеров с изоляцией вмещающих их водоносных пород вязкопластичными бентонито-цементными растворами, вместо использования водопонижения и водоотлива;

□ от загрязнения поверхностных вод и водоемов кислыми и щелочными шахтными, рудничными и карьерными водами путем локализации их притоков бентонито-цементными растворами;

□ от загрязнения грунтовых и подземных вод промышленными, бытовыми, химическими отходами и нефтепродуктами за счет герметизации шламохранилищ, полигонов отходов и свалок противofильтрационными барьерами с проектными размерами, глубиной и формой.

Основные составляющие этой технологии:

- геологическое и гидрогеологическое обоснование применения оптимальной природоохранной технологической схемы для каждого конкретного случая;

- научно-обоснованная методика получения достоверных данных о фильтрационных свойствах и параметрах трещиноватости и закарстованности природных массивов по результатам гидродинамических исследований в контрольно-разведочных и инъекционных скважинах;

- применение экологически чистых водоизолирующих растворов и укрепляющих составов на основе бентонитовых глин;

- научно-обоснованная методика проектирования производства природоохранных работ в различных гидрогеологических, геохимических и сейсмических условиях;

- оптимальные технологические схемы защиты литосферы и гидросферы от загрязнения и истощения;

- контроль оценки качества выполнения природоохранных работ.

**Водоизолирующие растворы и укрепляющие составы на основе бентонитовых глин.** Бентонитовые глины относятся к группе монтмориллонитов, имеющих стабильную кристаллическую решетку. Реакции замещения, обмена и гидратации происходят на поверхности и в середине кристаллической решетки между ее пакетами. Способность к реакции изоморфного замещения, гидратации и катионного обмена большая: 135 мг-экв на 100 г сухой натриевой бентонитовой глины, 100 мг-экв у кальциевой бентонитовой глины, 90 мг-экв у запесоченной бентонитовой глины.

Важный показатель водно-физических свойств бентонитовых глин – их высокая водоудерживающая способность, обусловленная большой емкостью обменного комплекса. Граничная водоудерживающая способность натриевых бентонитовых глин составляет 844%, кальциевых 305%, запесоченных 250%. Эта характеристика определяет верхнюю границу удержания воды, при которой бентонитовая суспензия сохраняет свою структуру за счет осмотического связывания воды. При уменьшении содержания воды прочность структуры увеличивается.

Реологические и структурно-механические свойства водоизолирующих растворов и укрепляющих составов на основе бентонитовых глин характеризуются динамическим напряжением сдвига, структурной вязкостью, пластической прочностью структуры и величиной статического напряжения сдвига, при котором эти растворы и составы начинают течь. В соответствии с нормативными требованиями рекомендуется применять водоизолирующие растворы и укрепляющие составы, в которых исходная бентонитовая суспензия имеет начальное статическое напряжение сдвига 15-20 Па. Динамическое напряжение сдвига растворов должно быть 100-150 Па, структурная вязкость 40-60 с, конечное статическое напряжение сдвига 500-600 Па, конечная вязко-пластическая прочность структуры должна быть не менее 500-1000 КПа [3].

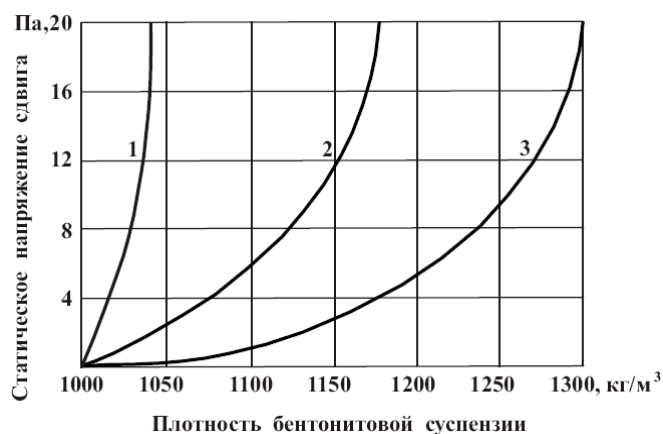
Процесс структурообразования растворов и составов на основе бентонитовых глин характеризуется тремя этапами:

1й этап – начальный рост прочности структуры, не препятствующий прокачке растворов по инъекционному трубопроводу и трещинам;

2й этап – резкое повышение прочности структуры после прекращения ее нагнетания;

3й этап – достижение заданной конечной прочности структуры.

На рис. 1 приведены экспериментально полученные авторами зависимости статического напряжения сдвига бентонитовых суспензий от их плотности для натриевых Дашуковских глин (Черкасская область), кальциевых Константиновских глин (Донецкая область), и Закарпатских запесоченных бентонитовых глин.



**Рис. 1.** Зависимость статического напряжения сдвига от плотности суспензий различных бентонитовых глин

1 - Дашуковский Na – бентонитонит; 2 - Константиновский Ca – бентонит; 3 - Закарпатский запесоченный бентонит.

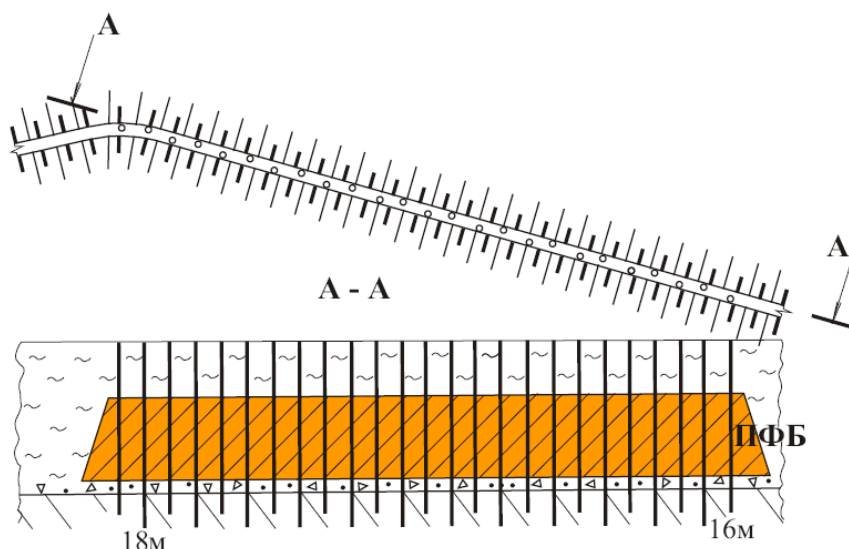
На рис. 1 показано, что наиболее оптимальными являются водоизолирующие растворы, приготавливаемые на основе Дашуковских натриевых бентонитов.

Ниже приведены примеры практического применения вышеуказанной технологии в различных гидрогеологических, геохимических и сейсмических условиях.

**Практическое применение природоохранной технологии.** Природоохранная технология внедрена силами ООО «НПП «Антрацит-Плюс Лтд.» и другими подрядными организациями по проектам, разработанным авторами этой технологии, на шахтах в Донбассе, туннелях Украинских железных дорог, при сооружении перегонных тоннелей Донецкого метрополитена, в Чернобыльской зоне отчуждения на хранилище объекта «Вектор»; в США на свинцово-цинковом руднике Майк Хорс в штате Монтана, медном руднике Кеннекотт в штате Юта; в Тайване при ликвидации аварийных прорывов

подземных вод в сооружаемые туннели: автодорожный Пин Лин длиной 12,9 км, железнодорожный Ху Коу длиной 4,2 км, а также в вентиляционные стволы глубиной от 438 м до 501 м в условиях ежедневной сейсмической активности, дождей и тайфунов.

На шахте Комсомольская в Донбассе через основание шламохранилища № 1 объемом 1,8 млн м<sup>3</sup> началась фильтрация жидкой фазы шламов, сопровождаемая размывом дамбы. Для предупреждения прорыва шламов и загрязнения ими земель и поверхностных вод, авторы предложили выполнить водоизоляцию и укрепление основания и тела дамбы этого шламохранилища через расчетное количество вертикальных инъекционных скважин. Согласно разработанного проекта на участке фильтрации шламов в 2 этапа был создан подземный противофильтрационный барьер (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема создания противофильтрационного барьера на проницаемом участке дамбы шламохранилища

На первом этапе с гребня дамбы шламохранилища пробурили 13 вертикальных инъекционных скважин глубиной 18 м, через которые произвели нагнетание 210 м<sup>3</sup> бентонито-цементного раствора в подстилающие трещиноватые глинистые сланцы. Проектное расстояние между инъекционными скважинами было 5 м.

На втором этапе между скважинами первого этапа пробурили дополнительный ряд инъекционных скважин глубиной 16 м, через которые выполнили контрольное нагнетание 110 м<sup>3</sup> бентонито-цементного раствора. Основные параметры производства вышеуказанных работ приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Параметры сооружения подземного противофильтрационного барьера на проницаемом участке дамбы шламохранилища

Этапы работ	Количество инъекционных скважин	Глубина инъекционных скважин, м	Общий объем бурения, м	Общий объем нагнетания раствора, м <sup>3</sup>	Давление нагнетания раствора скважину, кг/см <sup>2</sup> В
1й	13	18	234	210	5-10
2й	12	16	192	110	10-15
Всего:	25		426	320	

В результате выполнения природоохранных работ были ликвидированы течи из шламохранилища № 1 шахты Комсомольская, стабилизирован насыпной грунт дамбы, водоизолировано и укреплено ее основание. Это предотвратило дальнейшую фильтрацию шламов и загрязнение прилегающих к шламохранилищу земель и водоемов.

На цинково-свинцовом руднике Майк Хорс в штате Монтана, США, в результате его затопления в конце 19-го века рудничные воды окислились за прошедшие годы до  $pH=5,5$ . Вытекая через старый портал этого рудника, кислые воды загрязняли прилегающую гидрографическую сеть в горной местности.

Для предотвращения дальнейшего загрязнения водной среды кислыми рудничными водами, авторы предложили изолировать причину загрязнения – водоносный сброс, после пересечения которого штольной, на глубине 90 м от горной поверхности, этот рудник был затоплен водами выше протекающей реки Майк Хорс Крик.

Согласно разработанного авторами проекта, изоляцию водоносного сброса выполнили в 2 этапа через 2 ряда наклонных инъекционных скважин длиной 50 м и 45 м, пробуренных под руслом реки Майк Хорс Крик (рис. 3).

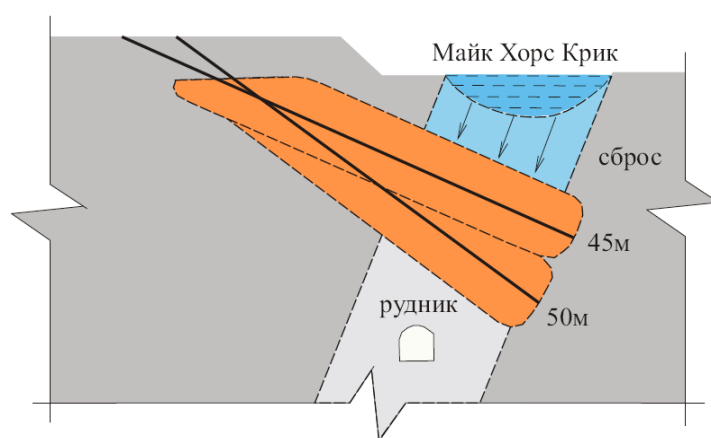


Рис. 3. Схема сооружения противофильтрационного барьера под руслом реки Майк Хорс Крик

В табл. 2 приведены параметры выполнения природоохранных буровых и инъекционных работ на этом объекте. Для приготовления водоизолирующего бентонито-цементного раствора применяли бентонитовую порошковую глину из соседнего штата Вайоминг.

Таблица 2. Параметры изоляции притоков кислых вод из затопленного свинцово-цинкового рудника Майк Хорс Майн

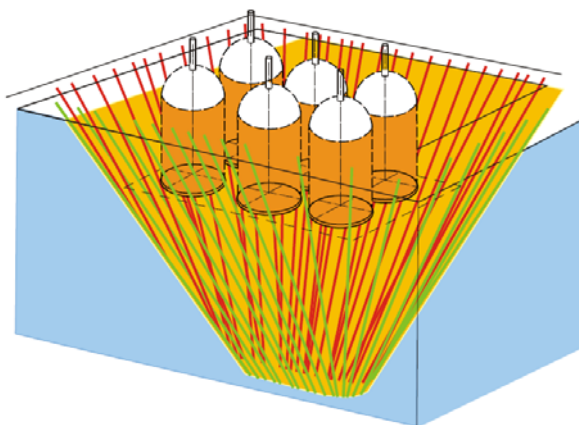
Этапы работ	Количество инъекционных скважин	Угол бурения скважин, град.	Длина инъекционных скважин, м	Объем бурения скважин, м	Общий объем нагнетания раствора, $m^3$	Давление нагнетания раствора в скважину, $kg/cm^2$
1й	7	35	50	350	810	25-30
2й	6	45	45	270	385	35-40
Всего:	13			620	1195	

Около участка выполнения вышеуказанных природоохранных работ заранее пробурили 5 вертикальных гидронаблюдательных скважин глубиной по 100 м для мониторинга статического уровня подземных вод. До начала выполнения работ статический уровень в гидронаблюдательных скважинах был на отметке 90 м, что

соответствовало глубине расположения затопленных выработок рудника Майк Хорс Майн.

При проектном объеме нагнетания 1200 м<sup>3</sup>, всего в 13 скважин инъецировали 1195 м<sup>3</sup> бентонито-цементного раствора, после чего статический уровень подземных вод во всех гидронаблюдательных скважинах поднялся до отметки 6 м, то есть до дна речки Майк Хорс Крик. В результате выполненных природоохранных работ притоки кислых рудничных вод из портала цинково-свинцового рудника прекратились. Все вышеперечисленные работы были выполнены корпорацией «Моррисон Кнудсен», США, по проекту и под руководством авторов по инициативе Департамента энергетики и Департамента охраны окружающей среды США.

На меднодобывающем карьере Кеннекотт в штате Юта, США, из 6 железобетонных подземных емкостей объемом по 178 м<sup>3</sup> каждая, началась фильтрация вредных отходов. Для предотвращения загрязнения окружающей среды опасными отходами авторы разработали проект создания вокруг и под вышеуказанными емкостями с отходами бентонито-цементного противофильтрационного барьера-капсулы через расчетное количество наклонных скважин, пробуренных с поверхности земли (рис. 4).



**Рис. 4.** Схема сооружения противофильтрационного барьера-капсулы под подземными емкостями с отходами

В табл. 3 приведены параметры производства вышеуказанных работ.

**Таблица 3.** Параметры сооружения противофильтрационного барьера-капсулы под подземными емкостями с отходами

Длина противофильтрационного барьера, м	Количество инъекционных скважин	Глубина инъекционных скважин, м	Общий объем бурения скважин, м	Объем нагнетания раствора в скважину, м <sup>3</sup>	Общий объем расхода раствора, м <sup>3</sup>	Давление нагнетания раствора в скважину, кг/см <sup>2</sup>
240	48	25	1200	35-40	1716	15-20

Все буровые, изыскательские и инъекционные работы на вышеуказанном объекте выполнила корпорация «Моррисон-Кнудсен», США, под руководством авторов согласно разработанной ими природоохранной технологии. После завершения производства работ по созданию под емкостями с отходами противофильтрационного барьера-капсулы, фильтрация вредных отходов из них прекратилась.

На полигоне объекта «Вектор» в Чернобыльской зоне отчуждения ООО «НПП «Антрацит-Плюс Лтд.» выполнило укладку подстилающего сорбционного слоя с

расчетной толщиной 0,3 м на экспериментальном участке хранилища твердых радиоактивных отходов ТРО-1. Учитывая наличие вблизи объекта «Вектор» Чистогаловского месторождения глин, авторы предложили использовать в качестве гидроизолирующего материала глино-цементно-зольный раствор, приготавливаемый на основе этих глин.

До начала укладки гидроизолирующего раствора основание будущего хранилища разбивали на расчетное количество участков шириной 5 м по длине хранилища. Затем вокруг первого участка устанавливали сборно-разборную металлическую опалубку высотой 0,3 м и по всей площади огражденного участка равномерно укладывали проектный объем глино-цементного раствора с расчетной толщиной 0,3 м для создания подстилающего противofильтрационного слоя (рис. 5).



Рис. 5. Укладка гидроизолирующего раствора под будущим хранилищем ТРО-1 на объекте «Вектор»

В такой же последовательности выполняли сооружение подстилающего противofильтрационного слоя и на других участках хранилища ТРО-1 объекта «Вектор».

**Рекомендации по применению природоохранной технологии.** Учитывая развитие и активизацию опасных геологических процессов в Прикарпатье и Карпатах, целесообразно рекомендовать первоочередное применение природоохранной технологии на месторождениях калийной соли в городах Калуш и Стебник, серы в городе Яворив, каменной соли в городе Солотвино, на которых практически приостановлены горно-добычные работы.

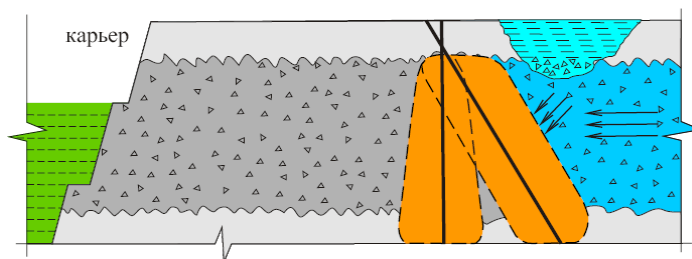
Сегодня наиболее критическая ситуация сложилась на Домбровском карьере, единственном в Европе, где раньше добывали калийную соль открытым способом, и на хвостохранилище № 2 в городе Калуш. Домбровский калийный карьер в последнее время из-за активизации процессов образования карста и провалов земной поверхности «съедает» каждый месяц до десятка метров из 200 метров, которые отделяют его от реки Сивка, притока Днестра.

Для прекращения фильтрации вод реки Сивка в Домбровский калийный карьер авторы разработали проект его комплексной защиты, предусматривающий выполнение природоохранных работ в 3 очереди:

**первая очередь** – сооружение двойного подземного противofильтрационного барьера на берегу реки Сивка в зоне водоносного закарстованного подземного канала между рекой и северным бортом карьера. Размеры и направление этого канала выявлены в результате проведения геофизических исследований. На рис. 6 приведена технологическая схема сооружения противofильтрационного бентонито-цементного



барьера длиной 500м вдоль берега реки Сивка в зоне закарстованного водоносного канала и оперяющих его трещиноватых пород через ряд вертикальных скважин глубиной 30 м – 40 м, и контрольный ряд наклонных скважин с такой же глубиной.



**Рис. 6.** Схема сооружения двойного профильтрационного барьера для ликвидации речных притоков в Домбровский калийный карьер

**вторая очередь** – заполнение кольцевой дренажной траншеи карьера глинистыми грунтами с последующей их гидроизоляцией бентонито-магнезиальным раствором, затворяемым на концентрированных рассолах;

**третья очередь** – создание по контуру карьера гидрозавесы через сеть пробуренных скважин, путем нагнетания через них концентрированных рассолов в водоносный горизонт и прилегающие карстовые каналы для оттеснения пресных вод и покрытия соленосных пород [4].

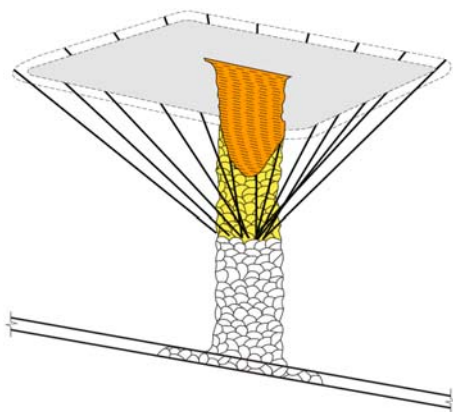
Работы первой очереди разработанного проекта планируется выполнить в 2010 году.

На насыпном хвостохранилище № 2 сульфато-магниевого обогатительной фабрики государственного предприятия «Калийный завод» в г.Калуш через тело и основание дамбы хвостохранилища фильтруется жидкая фаза рассолов с содержанием соли 400 г/л, размывающая дамбу высотой 20 м. Площадь хвостохранилища 48 га, общий объем находящихся в нем рассолов 9,7 млн м<sup>3</sup>.

В соответствии с разработанным авторами проектом, водоизоляцию и укрепление фильтрующих участков тела и основания дамбы хвостохранилища № 2 планируется выполнить в 2010 году через пробуренное с гребня дамбы проектное количество вертикальных скважин с заданной глубиной путем нагнетания в проницаемые грунты и породы расчетных объемов бентонито-магнезиального раствора, затворяемого на рассолах этого хвостохранилища.

Авторы также разработали проекты ликвидации провальных затопленных воронок в городе Калуш. Эти проекты предусматривают закрепление и водоизоляцию обрушенных пород под дном провальных воронок укрепляющим и водоизолирующим раствором, нагнетаемым через обсаженные перфорированными трубами наклонные скважины, пробуренные вокруг и под провалами (рис. 7).





**Рис. 7.** Схема ликвидации провальной воронки над калийным рудником

После укрепления и водоизоляции обрушенных пород под провальной воронкой, ее проектируется заполнить до земной поверхности отработанной породой или отходами обогатительного производства, при этом необходимо одновременно укрепить твердеющими и водоизолирующими растворами нагнетаемыми через них.

Рекомендуемую природоохранную технологию также предлагается применять на Стебниковском и Солотвинском месторождениях солей, а также на Язивском месторождении серы.

1. Юрим М.Ф., Сибірний А.В., М'якуш І.І., Петрова М.А., Степова К.В. Моніторинг сучасних небезпечних геологічних процесів Прикарпаття і Карпат // Четверта науково-практична конференція «Моніторинг навколишнього природного середовища», Коктебель, 2009. – С. 11 – 12.

2. Лущик А.В., Шwirло М.І., Яковлев Є.О., Павлюк В.І. Стан геологічного середовища в межах родовищ сірки та солі в Передкарпатті і Закарпатті. Моніторинг. Напрямки інженерно-екологічного довілля // Четверта науково-практична конференція «Моніторинг навколишнього природного середовища», Коктебель, 2009. – С. 9 – 10.

3. Тампонаж обводненных горных пород: спр. пос. / [Э.Я.Кипко, Ю.Н.Спичак и др.] – М.: Недра, 1989. – 318 с.

4. Підготовка матеріалів до вихідних даних з консервації Домбровського кар'єру. Звіт про науково-дослідну роботу. Калуш: ДНДІ «Галургія», 2008. – 151 с.

**Ю.М. Спичак, І.Ю. Костів, Ю.В. Садовий В.Ф. Головчак, Р.В. Кравець**  
**ТЕХНОЛОГІЯ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА**  
**ВІД ВПЛИВУ ГІРНИЧО-ВИДОБУВНИХ РОБІТ**

*Для попередження розвитку і активізації небезпечних геологічних процесів автори розробили технологію охорони навколишнього середовища від впливу гірничо-видобувних робіт. Наведені загальні положення цієї технології, приклади її практичного застосування в Україні, за кордоном, і пропозиції її застосування в Передкарпатті і в Карпатах.*

**Y.N. Spychak, I.Y.Kostiv, Y.V.Sadoviy, V.F. Golovchak, R.V. Kravets**  
**ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGY FOR MINING**

*In order to prevent the growth and activations of the dangerous geological processes authors have developed technology a environmental protection for mining. This paper presents general principals of the environmental protection technology, case histories of its application in Ukraine and abroad, propositions of use this technology in Carpathians.*